

ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ С КОДИРУЮЩИМИ УСТРОЙСТВАМИ НА ОСНОВЕ ИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫХ СВЕТОФИЛЬТРОВ

© 2012 Г.И. Леонович¹, С.А. Матюнин², С.В. Ивков³, Р.Р. Акбаров³, Н.А. Ливочкина³

¹ Секция прикладных проблем при Президиуме РАН

² Самарский государственный аэрокосмический университет

³ ФГУП ГНПРКЦ «ЦСКБ - Прогресс»

Поступила в редакцию 25.03.2012

Совершенствование бортовых систем управления космическими аппаратами направлено на расширение функциональных возможностей при уменьшении массогабаритных показателей, увеличении надежности и снижении энергопотребления. Применение волоконно-оптических преобразователей перемещения со спектральными кодирующими устройствами на основе многокомпонентных интерференционных фильтров позволяет создать компактную многоточечную сенсорную сеть для сбора и последующей обработки данных о контролируемых параметрах с использованием ограниченного числа волоконно-оптических каналов передачи данных.

Ключевые слова: бортовая волоконно-оптическая приборная сеть, волоконно-оптический преобразователь перемещения, спектральное кодирование, интерференционный светофильтр

Требования, предъявляемые к бортовому оборудованию космических комплексов на современном этапе сводятся, главным образом, к уменьшению массогабаритных показателей и энергопотребления, повышению надежности и устойчивости к дестабилизирующим факторам при одновременном увеличении объемов решаемых задач. В этой связи на борту космических аппаратов (КА) все шире используются волоконно-оптические сети сбора и передачи информации (ВОСПИ), в основу которых положены IG- и PBG-световоды, устойчивые к ионизирующему излучению [1, 2]. Это позволяет на порядок и более уменьшить вес кабелей и кабельного оборудования бортовой сети, использовать новые типы датчиков с волоконно-оптическим интерфейсом, к которым в частности, относятся волоконно-оптические преобразователи перемещений (ВОПП) со спектрально кодирующими устройствами (СКУ) на основе светофильтров из многокомпонентных интерференционных покрытий (МИП) с управляемыми слоями [3, 4]. Суть алгоритмов управления заключается во взаимном смещении спектральных характеристик МИП, направленном, в первую очередь, на достижение заданных параметров точности и стабильности

преобразования, т.е. адаптивно компенсировать либо осуществлять внешнее управление воздействием тепловых, электрических, магнитных и акустических полей, управляющих оптических сигналов. На рис. 1 представлена условная классификация СКУ на МИП, на рис. 2 приведена обобщенная структурная схема ВОПП с СКУ, включенного в волоконно-оптический канал бортовой сети.



Рис. 1. Классификация СКУ на МИП

Световой поток Φ_0 от источника излучения ИИ, находящегося в удаленном блоке формирования светового потока и обработки сигналов (БФСПОС), через подводящее оптическое волокно и оптическую систему ОС1 ВОПП подается на формирователь светового потока ФСП. ОС1 совместно с ФСП выполняет функции преобразования входного потока, к которым относятся коллимация, распределение по спектру, пространству и энергии (по одному или нескольким перечисленным параметрам), профилирование светового пятна. Сформированные субпотoki (по

Леонович Георгий Иванович, доктор технических наук, начальник отделения. E-mail: leogi1@mail.ru

Матюнин Сергей Александрович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Электронные системы и устройства»

Ивков Сергей Валериевич, аспирант. E-mail: sergeyivkov@virtualsoccer.ru

Аkbаров Руслан Рустамович, аспирант

Ливочкина Наталья Александровна, аспирантка. E-mail: Livochkina@gmail.com

числу информационных каналов) направляются на спектрально кодирующую шкалу (СКШ). СКШ совместно со считывающей системой (СчС), состоящей от одного до N оптических считывающих элементов (СчЭ), формирует модулированные по спектру оптические сигналы Φ_{cj} ($j=1, 2, \dots, N$), функционально привязанные к перемещению α . Далее посредством выходной

оптической системы (ОС2) световые лучи преобразуются к виду, позволяющему направить собрать и направить оптические сигналы через ВОЛС в БФСПОС, в котором из них получаются электрические сигналы, привязанные к измеряемому перемещению. Эти сигналы преобразуются в позиционный цифровой код, соответствующий требуемому протоколу бортовой сети.

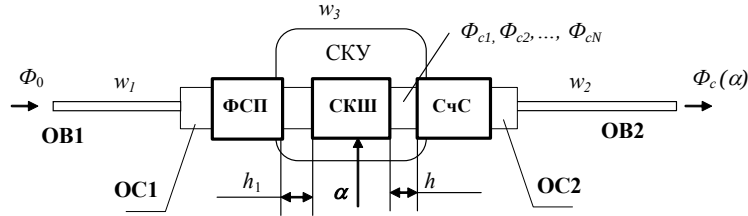


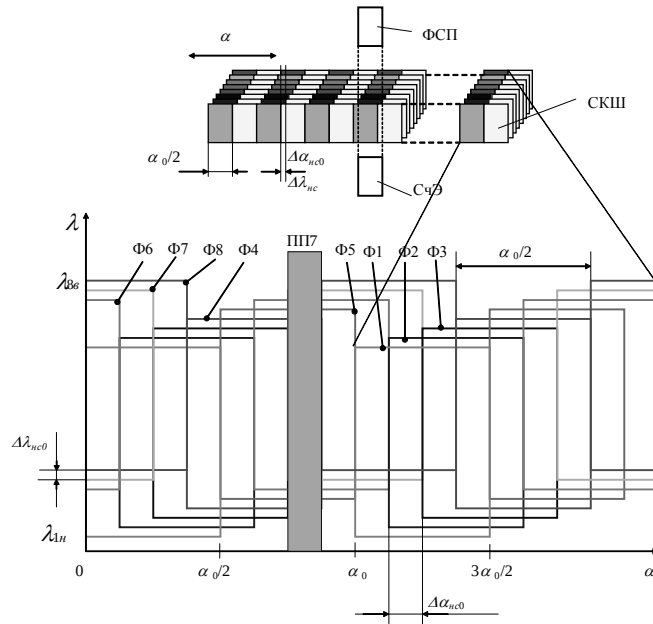
Рис. 2. Обобщенная структурная схема ВОПП с КУ

Световой поток от j -го СчЭ, является функцией нескольких основных аргументов, которую можно принять за обобщенную математическую модель одиночного канала ВОПП:

$$\Phi_{cj}(\alpha) = \Phi_0 H_{jk} \left[\left(\Omega_k \cap S_j \right) \Big|_{\alpha}, \lambda_j(\alpha), \Delta\lambda_j, \lambda_k, \Delta\lambda_k \right] \times w_1 w_2 w_3, \quad (1)$$

где Φ_0 – немодулированный световой поток от ИИ; $H_{jk}(\alpha)$ – функция преобразования в элементе

СКУ из j -го СчЭ и k -го кванта СКШ; α – перемещение объекта; Ω_k – геометрическая область k -го кванта СКШ; S_j – геометрическая область j -го СчЭ; $\lambda_j(\alpha)$, $\Delta\lambda_j$ – центральная длина волны и ширина спектра пропускания j -го СчЭ; λ_k , $\Delta\lambda_k$ – центральная длина волны и ширина спектра полосы пропускания k -го кванта СКШ; w_{1j} , w_{2j} – коэффициенты передачи автономных или общих участков волокна ОС1 и ОС2 с учетом потерь на соединениях, w_3 – коэффициент передачи ФСП.



а)

$\Delta\lambda_{нс i}$	α	$\lambda_{нс}$													
	$\times \alpha_0$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
$\Delta\lambda_{нс1}$	0-1/8														
$\Delta\lambda_{нс2}$	1/8-2/8														
$\Delta\lambda_{нс3}$	2/8-3/8														
$\Delta\lambda_{нс4}$	3/8-4/8														
$\Delta\lambda_{нс5}$	4/8-5/8														
$\Delta\lambda_{нс6}$	5/8-6/8														
$\Delta\lambda_{нс7}$	6/8-7/8														
$\Delta\lambda_{нс8}$	7/8 -1														

б)

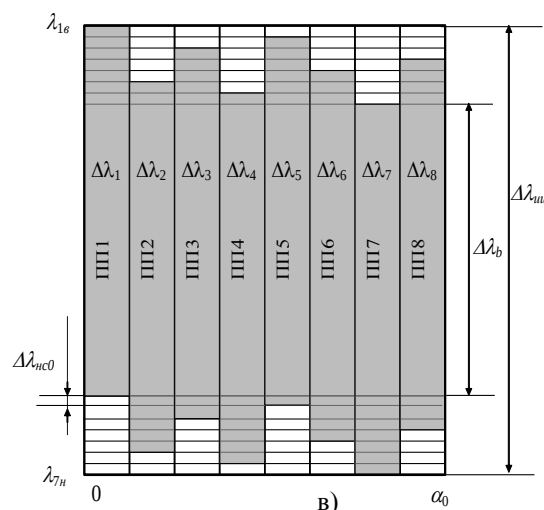


Рис. 3. Составная СКШ из широкополосных светофильтров: а) – структура шкалы в координатах λ и α ; б) – вариант сочетания фильтров для устойчивой к ВДФ СКШ; в) – вариант чередования полос пропускания ППj при $n=3$

Каждый из сомножителей в выражении (1) является функцией множества аргументов и для конкретного типа ВОПП рассчитывается отдельно. Кроме того, количество СчЭ (значение N) может варьироваться от одного до нескольких десятков, в зависимости от метода кодирования перемещения и потребной разрешающей способности преобразователя [3-4]. Излучение, поступающее в ВОПП, может быть узко- или широкополосным по спектру. Распределение света по кодирующим каналам осуществляется равномерно (по спектру, энергии, геометрическим параметрам сечения светового луча) или в соответствии с определенным алгоритмом. Характеристика оптического сигнала с учетом внешнего управления параметрами спектрально регулируемых элементов определяется из выражения для спектральной составляющей коэффициента передачи [3]:

$$w_\lambda(\lambda, t) = w_{1\lambda}(\lambda, t) w_{2\lambda}(\lambda, t) w_{3\lambda}(\lambda, t) = \{\Phi^*(\lambda, t) \cdot \prod_{i \in I} \Phi_n^{*i}(\lambda, t)\} \times \\ \times \{T^*(\lambda, t) \cdot \prod_{j \in J} T_n^{*j}(\lambda, t, \tau)\} \{S^*(\lambda, t) \cdot \prod_{k \in K} S_n^{*k}(\lambda, t)\} \quad , \quad (2)$$

где $\Phi^*(\lambda, t)$, $T_n^{*j}(\lambda, t)$, $S^*(\lambda, t)$ – спектральные характеристики излучения ИИ, пропускания ВОПП и чувствительности приемника излучения, соответственно; i, j, k – номера компонент покрытий; λ – длина волны излучения; t – температура.

Существует большое многообразие СКШ, топология которых определяется способом получения информации о перемещении. Вариант топологии СКШ для цифрового ВОПП с открытым оптическим каналом представлен на рис. 3.

СКШ выполняются из периодически нанесенных групп из $N=2^n$ ($n=2, 3, 4, \dots$) широкополосных светофильтров Φ . Геометрическая ширина каждого фильтра равна ширине СчЭ $\alpha_\phi = \alpha_m = \alpha_c = \alpha_0/2$. Фильтры смещены вдоль

шкал α и λ на $i\Delta\alpha_n = i\alpha_0/N$ и $l\Delta\lambda_n = l\Delta\lambda_{n0}/N$, где λ_{n0} – часть диапазона спектра, предназначенная для кодирования перемещения, $i, l=1, 2, 3, \dots, N$. При этом полоса пропускания (ПП) каждого фильтра $\Delta\lambda_i \gg \Delta\lambda_{n0}$. Коэффициент пропускания комбинации фильтров $T(i\Delta\alpha_n) = \prod_{L_i} T(\lambda_{i6} - \lambda_{in})$, $l \in L_i$,

соответствует одной из N комбинаций. Перемещение шкалы на величину $i\Delta\alpha$ приводит к изменению спектра суммарного сигнала, соответствующему одной из $N=8$ комбинаций, представленных на рис. 3б, в. На рис. 4 представлен аналоговый ВОПП с закрытым оптическим каналом, особенностью которого является использование эффекта зависимости длины волны максимума пропускания встроенного фильтра от угла γ падения на него светового луча.

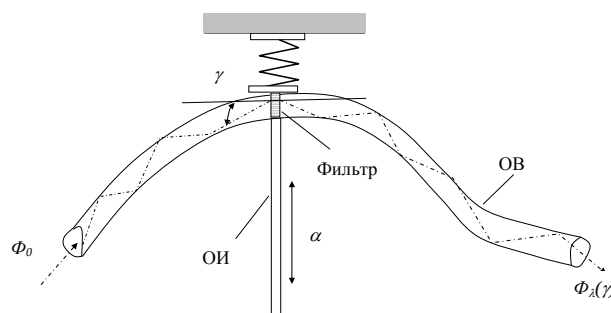


Рис. 4. Упрощенная структурная схема аналогового ВОПП с встроенным оптическим фильтром

При перемещении объекта измерения ОИ осуществляется изгиб сопряженного с ним ОВ, что вызывает изменение угла γ . Длину волны максимума пропускания фильтра можно описать посредством нормированной функции пропускания ($T_M=1$) как [3]

$$\lambda_m = \frac{B \cdot c \cdot \cos[\varphi \pm \Delta\varphi(\gamma)]}{\arccos\left(\frac{1-H}{D}\right)}, \quad (3)$$

где H , D , B – конструктивные параметры спектроформирующих элементов фильтра, определяющие характеристики пропускания (максимальный коэффициент пропускания при $\gamma=0$, ширина полосы, крутизна спектральной характеристики); c – скорость света; φ – начальный угол преломления излучения в резонансном слое МИП; $\pm\Delta\varphi(\gamma)$ – изменение угла преломления от угла γ падения (расхождения) светового луча. При малом диапазоне расхождений углов $\Delta\gamma$ и $\Delta\varphi$ можно считать, что $\Delta\varphi=\gamma$. Полученная зависимость в ограниченном диапазоне изменения угла носит характер косинусоиды.

Вывод: представленные варианты построения ВОПП с SKU на интерференционных светофильтрах показывают возможность создания пассивной бортовой волоконно-оптической сети со спектральным разделением каналов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Капранов, Ю.С. Применение волоконно-оптических кабелей на основе микроструктурированных волокон на борту космических аппаратов нового поколения / Ю.С. Капранов, Ю.Т. Ларин, С.В. Перминов // Кабели и провода. 2010. №4 (323). С. 6-9.
2. Majeed, Y. Design Optimization of Fiber Optic Sensors / Y. Majeed, M. Al-Bassiyouni, A. Dasgupta // Optical Society of America, 2009. P. 456-463.
3. Леонович, Г.И. Спектральное и спектрально-модовое кодирование сигналов в оптоэлектронных преобразователях перемещения с волоконно-оптическими каналами передачи информации / Г.И. Леонович, С.А. Матюнин, П.Л. Токмак, Э.С. Луганский // Известия Самарского научного центра РАН. 2007. Т. 9, №3. С. 739-748.
4. Леонович, Г.И. Мультисенсорные волоконно-оптические преобразователи транспортных систем / Г.И. Леонович, В.М. Гречишников, А.С. Лукин, Н.А. Ливочкина // Известия Самарского научного центра РАН, «Перспективы и направления развития транспортной системы». – Самара, 2007. С. 125-130.

FIBER-OPTICAL DISPLACEMENT CONVERTERS WITH CODERS ON THE BASIS OF INTERFERENTIAL OPTICAL FILTERS

© 2012 G.I. Leonovich¹, S.A. Matyunin², S.V. Ivkov³, R.I. Akbarov³, N.A. Livochkina³

¹ Section of Applied Problems at Presidium of RAS

² Samara State Aerospace University

³ Federal State Unitary Enterprise State Scientific Production
Rocker Space Center «TsSCB - Progress»

Perfecting of spacecrafts onboard control systems is directed on expansion of functionality at decrease the mass dimension indexes, increase in reliability and decrease in power consumption. Use of fiber-optical displacement converters with spectral coders on the basis of multicomponent interferential filters allows to create a compact multipoint touch network for collecting and aftertreatment the data on controllable parameters with use of restricted number of fiber-optical data links.

Key words: onboard fiber-optical instrument network, fiber-optical displacement converter, spectral coding, interferential optical filter

Georgiy Leonovich, Doctor of Technical Sciences, Chief of the Section.
E-mail: leogi1@mail.ru

Sergey Matyunin, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department "Electronic Systems and Devices"

Sergey Ivkov, Post-graduate Student. E-mail: sergeyivkov@virtualsoccer.ru

Ruslan Akbarov, Post-graduate Student

Nataliya Livochkina, Post-graduate Student. E-mail: Livochkina@gmail.com